

近海潮间带水体及沉积物中重金属的含量及分布特征

曹红英¹, 梁涛^{1*}, 王立军¹, 丁士明¹, 丁立强², 阎欣³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 天津市环境监测站, 天津 300191; 3. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要: 利用 ICP-MS 分析技术, 系统测定了天津沿海潮间带表层海水、悬浮物、沉积物及沉积物间隙水中 13 种重金属元素的含量。结果表明, 不同介质中重金属总含量和个体含量差别较大, 最大相差 4~7 个数量级(水和悬浮物中)。在相同介质中, 各采样点重金属总含量差别不大, 变异系数小于 30%, 个体重金属浓度除间隙水中差别较大外, 变异系数均小于 50%。潮间带海水中溶解态重金属含量均值为 $41.2 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 原水、沉积物间隙水、悬浮物和沉积物中重金属含量均值分别为 $62.7 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $112.7 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $345.0 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $262.3 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。潮间带各介质中重金属构成有显著差别, 典型重金属元素 Zn、Cu、Pb 和 Cr 在原水和过滤水中约占 40%~50%, 而在悬浮物、沉积物及其间隙水中约占到 50%~80%。潮间带水体、悬浮物、沉积物与滨岸土壤中重金属元素组成和分布模式的相似性表明其污染来源为陆源污染物。对悬浮物和沉积物中重金属含量与有机质含量的相关分析结果显示二者间相关性较弱, 但各重金属含量之间有显著的相关关系, 说明它们有相似的地球化学行为。

关键词: 重金属; 潮间带; 含量; 分布; 天津

中图分类号: X55, P595 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)01-0126-06

Contents and Distribution Characteristics of Heavy Metals in Water and Sediment of Intertidalite

CAO Hong-ying¹, LIANG Tao¹, WANG Li-jun¹, DING Shi-ming¹, DING Li-qiang², YAN Xin³

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Environmental Monitoring Station of Tianjin, Tianjin 300191, China; 3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: ICP-MS analytical technology was used to analyze the concentration of 13 heavy metals in surface water, pore water in sediment, suspended particulate matter, and sediment of intertidalite of Tianjin. Results show that both total amount and single concentration of heavy metals vary greatly in different media, the biggest and smallest values differ by 4 or 7 magnitudes. While the variation coefficients of the contents of total metals or single metal in the same medium are less than 0.3 and 0.5 respectively except for the pore water. The average concentration of total dissolved heavy metals is $41.2 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, while total contents of heavy metals in original water, pore water, sediment and suspended particles are $62.7 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $112.7 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $262.3 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $345.0 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ respectively, they are similar to inland natural river but higher than those of ocean. The composition of heavy metals in different media varied greatly, metals prone to dissolve such as Mo account for more than 20% in water, but metals uneasy to dissolve mainly exist in sediment and suspended particles and absorbed by particles. Typical heavy metals, such as Zn, Cu, Pb and Cr, account for 40%~50% in water and 50%~80% in other media. The similarity in distribution mode of heavy metals in intertidalite and terrestrial soil suggest that they are originated from terrestrial soil that is contiguity to the sea. Notable correlativity can be seen between concentrations of all heavy metals except for Mo in sediment, which can explain the similarity of their environmental behavior, but only weak correlation between the content of organic carbon and concentrations of heavy metals in suspended particulates and sediment.

Key words: heavy metals; intertidalite; content; distribution; Tianjin

对河流、河口区重金属的含量和分布已有较多研究^[1,2], 但对潮间带水体中重金属的地球化学特征研究较少^[3]。潮间带处于海洋和陆地河流相互作用最强烈的地带, 具有特殊的水沙动力条件和复杂多变的物理化学条件^[1]。本研究以天津沿海潮间带为研究区域, 通过系统采集潮间带原水、过滤水、悬浮物、沉积物及其间隙水样品, 并对水体各要素中 13 种重金属元素的含量、分布、及其与河流主要污染物的相互关系进行了分析。

1 研究方法

1.1 样品采集和预处理

天津沿海潮间带位于天津东部, 沿渤海湾海岸

收稿日期: 2005-02-03; 修订日期: 2005-06-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(40101027), 中国科学院地理科学与资源研究所创新项目(CX10G-A02-04)

作者简介: 曹红英(1974~), 女, 博士后, 主要研究方向为环境地球化学。

* 通讯联系人, E-mail: liangt@igsr.ac.cn

带北起河北南堡,经天津沿海,南至大辛堡.在 2000-07 所采 62 个样点(沉积物)基础上,从中选择 16 个代表性样点,于 2003-07 对潮间带水体各要素(原水、过滤水、沉积物及悬浮物)进行了同步采样.所有样点尽可能远离河口和排污口等人为干扰区,样点离海岸有一定距离,大部分为高潮带,采样时间为退潮期.

采集到的原水,一部分用于测定水的理化特性并在酸化后测定重金属总量,另一部分用 0.45 μm 滤膜过滤,滤液酸化后测定溶解态重金属含量,并将滤膜上截留物作为悬浮物样品.称取 100g 新鲜沉积物样品高速(10,000r/min)离心分离,将上清液作为沉积物间隙水样品.沉积物及悬浮物样品阴干后经常规处理,过 1mm 孔径尼龙筛,再磨细后过 0.16mm 孔径筛待测.

1.2 样品分析

沉积物、悬浮物均采用 HF-HClO₄-HNO₃ 进行消解,其消解液及水样均采用等离子质谱法(ICP-MS 法)进行重金属含量分析,仪器为美国 VG Plasma Quad PQ2 Tarbo 型等离子质谱分析仪.分析过程中用沉积物标样 GSD-3 进行质量控制,仪器分析结果与标样给定值数据相符.沉积物及土壤

的有机质测定采用重铬酸钾法.

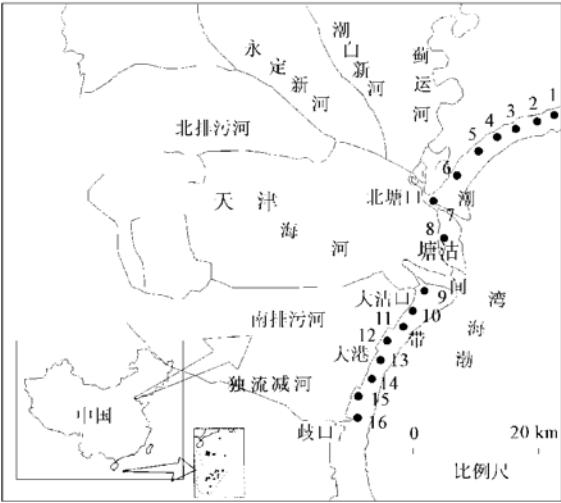


图 1 采样点设置
Fig. 1 Sampling site

2 结果与讨论

2.1 重金属元素在潮间带水体中的地球化学特征

潮间带原水、过滤水及沉积物间隙水中重金属含量如表 1 所示,与其它水体重金属含量的比较见表 2.

表 1 潮间带原水、过滤水和沉积物间隙水中重金属元素浓度/μg·L ⁻¹															
Table 1 Concentrations of heavy metals in original water, filtrated water and pore water in sediment of the intertidalite/μg·L ⁻¹															
介质	项目	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Zr	Nb	Mo	Sn	Hf	Ta	Pb	Bi	合计
原水	均值	4.79	2.07	7.24	7.99	8.50	0.67	0.22	13.23	10.44	0.25	0.16	7.06	0.09	62.7
	标准差	0.97	1.18	1.53	0.43	1.46	0.24	0.09	1.00	1.09	0.17	0.09	0.74		
	最小值	4.11	1.24	6.16	7.69	7.47	0.50	0.15	12.52	9.67	0.13	0.10	6.54		
	最大值	5.47	2.91	8.33	8.29	9.53	0.84	0.28	13.94	11.21	0.37	0.22	7.58		
	CV	0.20	0.57	0.21	0.05	0.17	0.36	0.41	0.08	0.10	0.69	0.52	0.10		
过滤水	均值	4.09	1.11	6.05	5.77	5.63	0.32	0.13	11.81	1.18	0.11	0.09	4.84	0.07	41.3
	标准差	0.62	0.58	0.31	1.15	2.95	0.00	0.08	1.42	0.14	0.02	0.05	1.77		
	最小值	3.65	0.70	5.83	4.95	3.54	0.32	0.07	10.81	1.08	0.10	0.06	3.59		
	最大值	4.53	1.52	6.27	6.58	7.72	0.32	0.18	12.81	1.28	0.13	0.13	6.09		
	CV	0.15	0.53	0.05	0.20	0.52	0.01	0.59	0.12	0.12	0.19	0.54	0.37		
沉积物间隙水	均值	23.9	4.1	13.0	8.8	36.2	1.7	0.3	19.0	0.9	0.2	0.3	4.4	0.1	112.7
	标准差	19.2	2.3	5.5	4.1	9.5	2.1	0.1	14.4	0.5	0.1	0.3	2.3	0.1	
	最小值	3.9	1.3	5.5	4.3	18.7	0.4	0.1	5.3	0.2	0.0	0.1	2.1	0.1	
	最大值	66.0	7.5	21.8	19.7	53.5	9.1	0.5	65.7	2.1	0.4	1.1	11.0	0.3	
	CV	0.8	0.6	0.4	0.5	0.3	1.3	0.5	0.8	0.6	0.7	1.1	0.5	0.5	
过滤水/原水		0.85	0.54	0.84	0.72	0.66	0.48	0.59	0.89	0.11	0.46	0.55	0.69	0.82	0.66
间隙水/过滤水		5.8	3.7	2.1	1.5	6.4	5.2	2.3	1.6	0.7	1.5	2.8	0.9	1.2	2.7

(1)原水中重金属的含量分布 原水中总重金属浓度均值为 62.7μg·L⁻¹,变化范围为 58.7~66.7μg·L⁻¹,个体重金属浓度变化范围为 0.09~13.94μg·L⁻¹,按浓度由大到小依次为: Mo> Sn> Zn> Cu> Ni> Pb> Cr> Co> Zr> Hf> Nb> Ta>

Bi, Mo~ Co 含量约占 97.9%,Zn、Cu、Pb 和 Cr 含量为 28.3μg·L⁻¹,约占各采样点中重金属总含量的一半.

天津沿海潮间带水中重金属浓度远低于其它类型水体(见表 2),考虑到采样点均远离排污口,所测

表 2 不同水体中重金属含量的比较/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ Table 2 Comparison among concentrations of heavy metals in different waters/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

河流名称	时间	Cu	Zn	Pb	Cr	Ref
天津潮间带	2003	7.99	8.50	7.06	4.79	
南北排污河	2002	215.5(4.8~1529.4)	565.2(16.2~5164.3)	46.9(1.3~202.1)	93.5(2.0~690.4)	
环渤海河口	2001	56~119	67~118	0.73~16.74		[4]
海兴县近海	1996~1997	42~97	130~180	13~45		[5]
长江口南槽	2002	27.5(11.0~59.7)	59.9(29.7~117.7)	135.6(63.3~233.3)	51.1(11.9~95.2)	[6]
南汇咀	1995	20.5(15.0~32.0)	45.0(28.5~82.0)			[7]
天津潮间带	2003	5.77	5.63	4.84	4.59	
南北排污河	2002	19.7(5.6~80.8)	58.3(1.6~897.7)	15.5(2.1~111.0)	18.3(0.5~180.3)	
深圳湾	2000	0.6~5.8	10.5~20.7	0		[8]
长江口表层	1999	4.15(2.16~4.45)		2.44(0.68~4.61)		[9]
龙口港	1991	1.52(1.17~1.92)	25.5(15.4~33.2)	0.61(0.36~1.30)	0.12(0.09~0.26)	[10]
南海表层水	1998	0.100(0.014~0.39)	0.086(0.013~0.350)	0.060(0.017~0.270)		[11]
天津潮间带	2003	8.8(4.3~197)	36.2(18.7~53.5)	4.4(2.1~11.0)	23.9(3.9~66.0)	
潮间带北段	2003	11.6(7.1~19.7)	41.3(29.2~53.5)	3.6(2.4~5.7)	39.1(19.2~66.0)	
潮间带南段	2003	6.0(4.3~9.5)	31.1(18.7~41.7)	5.3(2.1~11.0)	8.7(3.9~12.9)	
滇池	2002	4.89(1.9~9.8)	59.58(15.7~209.5)	6.18(1.1~10.5)	6.32(4.3~8.5)	[12]
国家一类海水水质标准		5	20	1	1	
国标海水中有毒物质最高允许浓度		10~100 ¹⁾	100~1000	50~100	100~500	[7]

1) 范围表示第一类和第二、三类标准

海水中重金属浓度与其他研究者所测数值相比偏低或相近^[4,5]。从 4 种典型重金属元素含量看,天津潮间带水体中 Cu 和 Pb 含量超过国家一类海水水质标准,但均未超过国标海水中有毒物质最高允许浓度的一类标准。

(2) 溶解态重金属的含量分布 过滤水中总重金属浓度均值为 $41.2\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,变化范围为 $40\sim 234\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,个体重金属浓度变化范围为 $0.06\sim 12.81\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。各重金属元素含量依次为 $\text{Mo}>\text{Ni}>\text{Cu}>\text{Zn}>\text{Pb}>\text{Cr}>\text{Sn}>\text{Co}>\text{Zr}>\text{Nb}>\text{Bo}>\text{Hf}>\text{Ta}$, $\text{Mo}\sim\text{Co}$ 含量占 98.1%, Zn 、 Cu 、 Pb 和 Cr 含量为 $20.3\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 占各采样点中重金属总浓度的 45.1%, 与原水中重金属含量分布非常相似。

对比过滤水与原水中重金属浓度发现,除 Sn、Hf 和 Zr 以外的各重金属元素的溶解态比例均超过 50%,这与天津排污河和其它水体中重金属的赋存状态迥然不同^[6,13]。重金属浓度与悬浮颗粒物含量及其粒度显著相关^[6],而本次采样是在退潮期,水体中重金属溶解态比例偏高可能是吸附载体浓度偏低所致。与其它水体相比,天津潮间带水中溶解态重金属含量处于中等偏高水平,远低于污染水体,但高于一般河流水体和海洋表层水。

(3) 沉积物间隙水中重金属的含量分布 沉积物间隙水中总重金属浓度均值为 $112.7\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,变化范围介于 $51.7\sim 177.0\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,个体重金属

浓度变化范围为 $0.02\sim 65.7\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。间隙水中个体金属的浓度依次是 $\text{Zn}>\text{Cr}>\text{Mo}>\text{Ni}>\text{Cu}>\text{Pb}>\text{Co}>\text{Zr}>\text{Sn}>\text{Nb}>\text{Ta}>\text{Hf}>\text{Bi}$, $\text{Zn}\sim\text{Zr}$ 含量占 98.5%, Zn 、 Cu 、 Pb 和 Cr 的含量为 $45.2\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 占各采样点中重金属总浓度的 40.1%。

沉积物间隙水中重金属含量分布与原水和过滤水中不同,各重金属元素含量大小顺序差异较大。除 Sn 和 Pb 浓度是原水高于间隙水外,其它重金属元素浓度均以间隙水中高,最多可高出 6.4 倍。间隙水是潮间带水相与沉积相相互作用最活跃的部分,其重金属元素的含量更易受到沉积物中浓度的影响,而不同于过滤水和原水。

2.2 重金属元素在悬浮物和沉积物中的分布特征

潮间带沉积物、悬浮物(suspended particulate matter, SPM)及岸边土壤中重金属含量如表 3 所示,与其它类型水体沉积物和悬浮物的对比见表 4。

2.2.1 重金属元素在悬浮物中的含量分布

悬浮物中总重金属浓度均值为 $345.0\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,变化范围介于 $201.0\sim 529.3\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,变异系数为 19%;个体重金属浓度变化范围为 $0.13\sim 285.4\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,变异系数为 11%~51%。个体重金属的浓度依次是 $\text{Zn}>\text{Zr}>\text{Cr}>\text{Ni}>\text{Cu}>\text{Pb}>\text{Co}>\text{Nb}>\text{Sn}>\text{Hf}>\text{Mo}>\text{Ta}>\text{Bi}$, $\text{Zn}\sim\text{Nb}$ 含量占 97.5%, Zn 、 Cu 、 Pb 和 Cr 的总含量为 $336.37\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 占各采样点中重金属总浓度的 31.5%。

各采样点悬浮物中重金属浓度差异较大,海河入海口北段的重金属总浓度普遍较高,主要表现在 Zn、Cu 和 Ni 的浓度偏高. 各采样点的重金属总浓度以第 6 点最大达 $529.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 11 点最小为 $201.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 各点浓度差异可能来自其所处位

置,因为第 6 点接近北塘排污口,而 11 点则在距离排水口较远处. 与其它水体悬浮物相比,天津潮间带悬浮物中重金属浓度较低,低于大部分天然河流和海湾,但高于长江口(见表 4).

2.2.2 重金属元素在沉积物中的含量分布

表 3 潮间带沉积物、悬浮物和土壤中重金属的含量分布/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

Table 3 Distributional characteristics of heavy metals in sediment, SPM and soil of intertidalite/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

介质	特征值	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Zr	Nb	Mo	Sn	Hf	Ta	Pb	Bi	合计
悬浮物	均值	37.5	14.4	31.8	31.7	112.6	74.3	9.1	0.8	4.5	2.2	0.5	25.0	0.5	345.0
	标准差	12.1	2.2	5.1	4.5	49.0	10.1	1.8	0.4	1.6	0.3	0.2	2.7	0.3	
	最小值	15.7	6.9	15.7	18.6	68.3	40.0	3.0	0.4	2.1	1.0	0.1	18.3	0.1	
	最大值	71.2	16.4	37.8	38.5	285.4	83.2	10.7	1.6	9.0	2.4	0.8	29.5	1.3	
	CV	0.32	0.15	0.16	0.14	0.44	0.14	0.20	0.47	0.35	0.16	0.32	0.11	0.51	
沉积物	均值	25.4	11.7	26.9	25.3	87.7	79.6	8.6	1.6	2.4	2.3	0.7	22.1	0.6	295.1
	标准差	11.9	1.6	5.1	4.6	38.2	23.2	1.6	3.0	0.5	0.4	0.5	2.8	0.4	
	最小值	7.8	8.8	19.2	17.5	47.8	51.7	5.8	0.5	1.5	1.5	0.3	16.6	0.2	
	最大值	48.7	14.1	35.8	32.3	181.3	146.1	10.8	13.0	3.2	3.0	1.7	27.4	1.5	
	CV	0.47	0.14	0.19	0.18	0.44	0.29	0.19	1.84	0.20	0.19	0.67	0.13	0.62	
土壤	均值	30.4	12.7	27.6	24.8	82.9	67.7	9.0	0.5	2.4	2.0	0.4	20.3	0.3	280.9
	标准差	11.3	4.0	10.1	9.2	37.4	16.5	1.9	0.1	0.8	0.5	0.1	7.1	0.1	
	最小值	17.5	8.1	16.2	14.3	43.3	48.8	6.9	0.4	1.4	1.4	0.3	12.3	0.1	
	最大值	38.9	15.4	35.4	31.7	117.7	79.7	10.6	0.6	2.9	2.4	0.5	25.9	0.4	
	CV	0.37	0.32	0.36	0.37	0.45	0.24	0.21	0.20	0.36	0.26	0.22	0.35	0.54	
间隙水/沉		0.9	0.3	0.5	0.3	0.4	0.02	0.03	11.5	0.3	0.1	0.4	0.2	0.2	0.38
悬浮物/沉		1.5	1.2	1.2	1.3	1.3	0.9	1.1	0.5	1.9	1.0	0.8	1.1	0.9	1.17

表 4 不同水体沉积物和悬浮物中重金属元素含量比较/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

Table 4 Comparison among concentrations of heavy metals in sediment and SPM of different waters/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

河流名称	年份	Cu	Zn	Pb	Cr	Ref
天津沿海潮间带	2003	31.7(18.6~38.5)	112.6(68.3~28.5)	25.0(18.3~29.5)	37.5(15.7~71.2)	
天津潮间带北段	2003	34.1(31.6~38.5)	133.3(92.0~285.4)	26.0(24.9~27.5)	35.8(29.9~43.8)	
天津潮间带南段	2003	28.9(18.6~34.4)	89.5(68.3~130.8)	23.8(18.3~29.5)	39.3(15.7~71.2)	
悬浮物 南北排污河	2002	821.2(153.6~2498.6)	2626.5(99.4~9666.2)	177.3(28.7~419.6)	293.3(29.9~960.7)	
深圳湾	2000	48~68.8	230.2~380.8	82.5~264.9		[8]
长江干流城市段	2000	76.51~105.0	270.0~404.0	65.45~87.7	78.5~102.0	[15]
长江口		10.71		14.21		[16]
天津沿海潮间带	2003	25.3(7.55~32.3)	87.7(47.8~181.3)	22.1(16.6~27.4)	25.4(7.8~48.7)	
天津南北排污河	2002	543.4(37.8~1542.5)	1592.2(113.6~3988.2)	243.2(22.7~1355.0)	214.2(30.2~880.5)	
渤海表层	1984	21.82(8.98~31.0)	67.61(21.25~86.31)	14.38(5.00~25.96)		[17]
沉积物 海河口排泥场	1980	32.40	97.25	24.82		[4]
环渤海湾诸河口	2001	37.0(20.24~63.89)	125.9(89.14~215.78)	36.0(27.55~61.26)		[4]
北黄海沉积物		25.99(12.9~52.5)	88.48(58.6~172.0)	23.46(10.52~71.2)		[18]
长江干流城市段	2000	35.35~54.4	90.29~158.0	39.8~53.4	63.01~83.8	[15]

沉积物中总重金属浓度均值为 $262.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变化范围介于 $190.5 \sim 417.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数为 24%; 个体重金属浓度变化范围为 $0.22 \sim 181.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数为 13%~184%. 沉积物中个体金属的浓度依次为 $\text{Zn} > \text{Zr} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Nb} > \text{Sn} > \text{Hf} > \text{Mo} > \text{Ta} > \text{Bi}$, 而 $\text{Zn} \sim \text{Nb}$ 等重金属含量占重金属总量的 97.3%, 典型重金属元素 Zn、Cu、Pb 和 Cr 的总含量为 $86.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 占

各采样点重金属总浓度的 30.4%.

天津沿海北段受潮汐作用强烈, 且沿岸河流排污少, 南段为缓冲淤积型海岸, 受沿岸河流排污影响较大. 排污口多集中在北塘口、大沽口、大港及岐口等处. 研究结果显示海河入海口北段个别点的重金属总浓度较别点偏高, 主要是 Zn、Zr、Cr 和 Cu 的浓度偏高造成的. 在潮间带水体中, 悬浮物中重金属含量高于沉积物, 这一现象与天然河流相似. 由于受到

强力的搬运作用,潮间带悬浮物比沉积物更易于远距离的迁移和在大范围的水体中混匀,受岸边排污的直接影响较小.同类研究也表明^[1,14],潮滩沉积物重金属的空间分布格局并不受沿岸排污的直接影响,而与沉积动力作用密切相关.在水动力条件较弱的淤涨岸段和高潮滩部位,伴随着细颗粒泥沙的大量堆积,Cu、Zn、Pb、Cr、Cd等重金属明显趋于富集.

对比潮间带悬浮物、沉积物和沿岸土壤中重金属含量发现,除 Mo、Sn 和 Bi 外,其它重金属的悬浮物/土壤和沉积物/土壤比值均在 0.5~1.5 之间,非常接近 1.潮间带重金属含量与沿岸土壤的相似性再次证明了潮间带污染来自陆源污染物.

由表 4 可知,天津潮间带沉积物中重金属含量远低于内陆河流,与诸河口海湾相似,与渤海湾实测数据比较发现 20 多年来 Cu、Zn、Pb、Cr 的浓度有小幅增加.但考虑到重金属可在环境中持久累积,水体沉积物不仅是它们的汇,还是潜在的二次污染源,对其长期危害不可忽视.

2.3 潮间带各介质中重金属浓度关系及各重金属间相关关系

整个潮间带重金属的分布趋势是北高南低.而由历年的沿海各段排污量统计得知,北段沿海的厂矿污水排放量远高于南部,而有机排污量则是南段高得多^[19].可见,潮间带沉积物中重金属分布的地

带差异性与其接纳的排海污物及所形成的水环境特性有关.

天津沿海潮间带水体重金属分布模式与天津南北排污河差异较大,但其沉积物、悬浮物与滨海土壤的重金属分布模式极为相似,说明其沉积物和悬浮物均来源于滨海土壤.但由于强烈的潮汐及风浪作用,悬浮物的瞬时变化较大,此项结果只能反映部分时段的情况.

从不同介质中重金属浓度间的相关系数可以看出,原水和过滤水、悬浮物和沉积物中重金属浓度有很高的相关性(图 2).由于原水中 Sn 和沉积物中 Zr 的测定浓度有异常值,对上述回归结果有较大的影响,如果忽略原水中的 Sn 和沉积物中的 Zr,则原水-过滤水、原水-间隙水、原水-悬浮物、间隙水-沉积物和悬浮物-沉积物中重金属浓度的相关系数将分别增加到 0.972 8, 0.483 1, 0.060 2, 0.659 9 和 0.995 6.

从表 5 的 Spearman 相关系数矩阵不难看出,沉积物/悬浮物中有机质含量与重金属浓度之间相关关系较弱且多呈负相关,而天津南、北排污河中数据分析结果表明 Cu、Pb 等重金属与有机质间有较显著的相关性,其原因有待进一步探讨.沉积物中各重金属元素之间除 Mo 外均呈显著相关关系,悬浮物中各重金属含量之间除 Ta 外也有较好的相关关系,而各重金属含量之间良好的相关性说明它们有

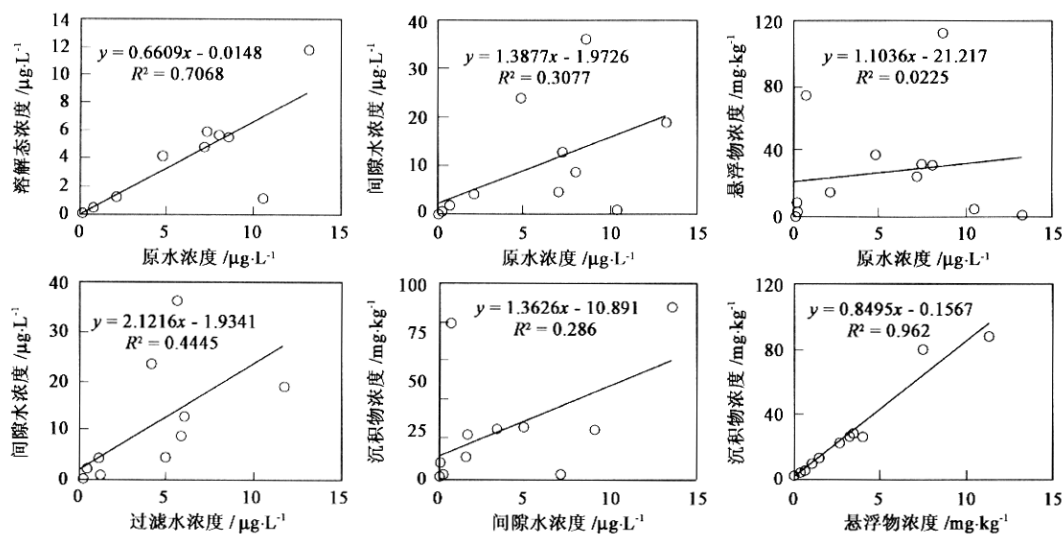


图 2 原水、过滤水、间隙水、悬浮物和沉积物中重金属浓度的相关性

Fig. 2 Relationship among concentrations of heavy metals in original water, filtrated water, pore water, suspended particulate matter and sediment